

بهینه‌سازی الگو و تراکم کشت تحت شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت دامنه - داران)

آیسن یوسف‌دوست^۱، عباس خاشعی‌سیوکی^۲، امیر سالاری^{۳*}

۱. دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۲. استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۳. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۳؛ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۲/۰۷)

چکیده

کشاورزی به علت ماهیت بیولوژیکی آن و وابستگی شدید به طبیعت بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آبی در بیشتر کشورها است. بنابراین، امروزه مدیریت آب در این بخش نقش مهمی را در مصرف منابع آب کشورها بازی می‌کند. مطالعه حاضر با هدف بهینه‌سازی سطح زیر کشت، تخصیص آب آبیاری و حداکثرسازی سود حاصل از کشت محصولات زراعی دشت دامنه - داران استان اصفهان در دوره ۲۰۱۷-۲۰۳۰ تحت سناریوی RPC8.5 گزارش پنجم تغییر اقلیم با کمک الگوریتم ژنتیک انجام شد. نتایج حاصل از اجرای مدل در بخش تغییر اقلیم پس از تخمین رواناب ماهانه حوضه به وسیله مدل AWBM با ضریب همبستگی ۷۵ درصدی نشان داد مقادیر $RMSE$ ، MBE و R پارامترهای ریزمقیاس‌سازی شده توسط مدل ریزمقیاس‌سازی آماری (SDSM) به ترتیب برابر ۸/۳۴، ۷/۵۱ و ۰/۹۸ در پارامتر دما و ۱/۲۸، ۶/۲۸ و ۰/۷۸ در پارامتر بارش است. بهینه‌سازی الگوی کشت در منطقه مطالعه شده باعث کاهش سطح زیر کشت محصولات گندم، جو، چغندر قند و ذرت علوفه‌ای به ترتیب به مقدار ۲۱۳۰/۶، ۱۱۷۶/۱، ۱۱۲/۸ و ۵۱۶ هکتار، افزایش سطح زیر کشت سیب‌زمینی به مقدار ۳۹۳۵/۵ هکتار، صرفه‌جویی مصرف آب بخش کشاورزی طی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۳۰ به مقدار ۱۸/۲۱ میلیون مترمکعب و افزایش سود کلی کشاورزان منطقه به میزان ۱۶۳ میلیون تومان شد.

واژه‌های کلیدی: سناریوی پنجم تغییر اقلیم، مدل AWBM، الگوریتم ژنتیک.

مقدمه

بررسی تغییرات اقلیمی و تأثیرات آن بر بخش‌های مختلف جامعه به خصوص کشاورزی اهمیت زیادی دارد [۱ و ۲]. افزایش ریسک بلایای طبیعی مانند سیلاب و خشکسالی، گرم‌تر شدن دمای کره زمین و تغییرات بارش از جمله موارد مهم این تغییرات اقلیمی است [۳] در این راستا، در تحقیقات زیادی به بررسی اثرات هیدرولوژیکی و اکولوژیکی تغییر اقلیم پرداخته شده است [۲، ۴ و ۵-۸]. کاهش جریان حوضه‌ای [۲] و یا در مقابل افزایش جریان در حوضه دیگر [۷ و ۸] از جمله این اثرات هیدرولوژیکی در نواحی مختلف جهان است. افزایش تکرار بارش‌های شدیدتر، کاهش وقایع بارش با شدت کم، افزایش دمای حداقل و حداکثر، افزایش سالانه رواناب و پتانسیل سیل‌خیزی نیز در این تحقیقات گزارش شده است [۹]. مطالعات بررسی شده نشان می‌دهد تولید و عملکرد محصولات مختلف کشاورزی نیز به شدت تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار دارد [۱۰-۱۳]. اثر معنادار روند افزایشی مقدار بارندگی و دمای بیشینه و کمینه دشت مشهد بر عملکرد همه محصولات زراعی منطقه به خصوص گندم و جو مشاهده شده است [۱۴].

برآیند تغییرات اقلیمی بر عملکرد محصولات مختلف در مناطق مختلف جهان، غالباً بیانگر کاهش تولید محصول و افزایش هزینه‌ها است [۱۵]. تغییرات و اصلاح الگوی کشت محصولات کشاورزی راهکاری مفید برای سازگاری با شرایط جدید خواهد بود [۱۶]. کاهش خطرات احتمالی این اثرات، مستلزم پیش‌بینی دقیق تغییرات و اعمال مدیریت‌های صحیح از جمله بهینه‌سازی الگوی کشت مطابق با شرایط اقلیمی پیش رو برای حفظ کشاورزی پایدار و امنیت غذایی است [۱۷]. در این راستا، روش‌های مختلفی از جمله مدل‌های اقلیمی، الگوریتم‌های ژنتیکی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و هوش مصنوعی برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱۸-۲۱]. به طور کلی، تغییر اقلیم را می‌توان به صورت تغییر بلندمدت در توزیع آماری الگوهای آب‌وهوایی و متغیرهای اقلیمی ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای تعریف کرد [۲۲].

هیئت بین‌دول تغییر اقلیم^۱ (IPCC) پس از انتشار گزارش چهارم (AR4^۲) خود اقدام به تعریف چهار

سناریوی جدید تحت عنوان سناریوهای واداشت تابشی^۳ کرد. مجموعه این سناریوها که گزارش آن در سال ۲۰۱۳-۲۰۱۴ منتشر شد، به گزارش پنجم (AR5^۴) معروف است. مدل‌های گردش عمومی هیچ‌گاه نمی‌توانند مستقیم برای پیش‌بینی‌های منطقه‌ای یا نقطه‌ای استفاده شوند، آن‌ها نیازمند ریزمقیاس‌نمایی هستند تا با اعمال رفتارهای محلی در آن‌ها پیش‌بینی‌هایشان در مقیاس‌های محلی بهبود یابند [۲۳].

تحقیقات متعددی در زمینه ریزمقیاس‌نمایی داده‌ها انجام گرفته است. شبیه‌سازی شاخص‌های بارش شدید در حوضه رودخانه یانگ‌تسه با استفاده از روش ریزمقیاس‌سازی آماری (SDSM) نشان داد عملکرد این مدل در حوضه مطالعاتی مطلوب است [۲۴]. طی پژوهشی که در سال ۲۰۰۵ انجام شد، مدل‌های شبکه عصبی پیش‌خور و مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM با یکدیگر مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج پژوهش یادشده بیانگر عملکرد بهتر مدل ریزمقیاس‌نمایی شبکه عصبی پیش‌خور TLFN نسبت به SDSM بود [۲۵]. در پژوهشی دیگر از دو روش عامل تغییر CF و WG-LARS برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آبی در حوضه آبخیز رودخانه اعظم هرات یزد استفاده شد. به این منظور، از مدل CGCM3 - AR4 و سناریوی انتشار A2 تحت دو روش ریزمقیاس‌نمایی عامل تغییر و WG-LARS استفاده شد. نتایج نشان از افزایش دما در حوضه آبخیز مورد مطالعه تحت هر دو روش ریزمقیاس‌نمایی دارد. متوسط دمای به‌دست‌آمده از هر دو روش در دوره آبی اختلاف ۳ تا ۴ درصد را نشان داد، از طرف دیگر بارندگی در کل حوضه بسته به شرایط جوی کاهش قابل ملاحظه‌ای از خود نشان داد [۲۶].

تخمین رواناب به کمک مدل هیدرولوژیکی AWBM، این امکان را می‌دهد تا با شبیه‌سازی فرایند رواناب- بارش، رواناب حاصل از بارندگی در حوضه‌های فاقد آمار یا دارای آمار ناقص با کمترین هزینه و حداقل زمان، ارزیابی شود. نتایج شبیه‌سازی توسط مدل AWBM نشان داد این مدل از قابلیت خوبی در مدل‌سازی بارش- رواناب در مناطق خشک و نیمه‌خشک برخوردار است [۲۷].

بهینه‌سازی مسائل سیستم‌های منابع آب دارای

محصولاتی مانند پنبه، گوجه‌فرنگی، جو و سویا در گرگان و جو در کردکوی از الگوی کاشت حذف شود. در این تحقیق بیشترین سطح زیر کشت پیشنهادی در شهرستان گرگان مربوط به گندم و در شهرستان کردکوی مربوط به سویای بهاره دیم به دست آمد [۳۱]. بهینه‌سازی برنامه‌ریزی کاشت محصولات کشاورزی ایران نشان می‌دهد محصولات استراتژیکی همچون گندم، یونجه و جو در اولویت کاشت قرار دارند [۳۲]. بررسی نتایج پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد تا کنون تحقیقی مبنی بر مقایسه کاربرد دو روش ریزمقیاس Proportional و SDSM و بهینه‌سازی الگوی کشت در دوره آبی مبنی بر گزارش پنجم تغییر اقلیم در منطقه فریدن انجام نشده است. همچنین، با بررسی نتایج پژوهش‌های انجام‌شده می‌توان گفت که روش‌های مطرح‌شده در این پژوهش از شیوه‌های کارا در ارائه الگوی کشت بهینه در شرایط آبی هستند. با توجه به ضرورت پیش‌بینی‌های دقیق در بخش کشاورزی برای دوره‌های آبی این پژوهش در دشت دامنه-داران (یکی از دشت‌های حاصلخیز استان اصفهان که کشاورزی به‌خصوص کشت سیب‌زمینی از مهم‌ترین پیشینه مردم این منطقه است)، با هدف ارائه الگوی کشت بهینه و کاهش کمبود آب در بخش کشاورزی انجام شد. عدم مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی، رعایت نکردن سهمیه برداشت آب توسط برخی کشاورزان و استفاده از روش‌های سنتی آبیاری موجب شده تا بخش قابل توجهی از منابع آبی موجود در این منطقه خشک شود. به نظر می‌رسد که کاربرد این روش‌ها ممکن است ما را به نتایج بهتری در پیش‌بینی‌های آثار تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی و پایداری کشاورزی در این منطقه رهنمون سازد.

کم‌آبیاری راهکار بهینه تولید محصولات تحت شرایط کم‌آبیاری همراه با کاهش محصول در واحد سطح و افزایش محصول با گسترش سطح زیر کشت است [۳۳]. ضمن تحقیقی مشخص شد در بین محصولات مختلف در تمامی سناریوهای کم‌آبیاری، بیشترین سطح زیر کشت مربوط به گندم بوده و در سناریوهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد کم‌آبیاری در نهایت مقدار تولید محصول به ترتیب ۱۹، ۲۱ و ۲۳ درصد افزایش یافته است [۳۴].

هدف از اجرای این تحقیق، بهینه‌سازی سطح زیر

پنجیدگی‌هایی است که گاه حل آن‌ها با روش‌های معمول بهینه‌سازی امکان‌پذیر نبوده و یا حداقل از لحاظ اقتصادی به‌صرفه نیست. در این راستا، تحقیقات فراوانی به‌منظور یافتن روش‌های مناسب برای حل این مسائل صورت گرفته است. به همین منظور، در سال‌های اخیر روش‌های کاوشی در بهره‌برداری بهینه از منابع آب مورد توجه واقع شده‌اند. روش‌های کاوشی اغلب الهام‌گرفته از طبیعت هستند که برای حل مسائل در زمینه‌های مختلف مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند. از روش‌های تکاملی شناخته‌شده می‌توان الگوریتم ژنتیک، شبیه‌سازی آن‌لینگ، جست‌وجوی ممنوعه، الگوریتم مورچگان و ازدحام ذرات اشاره کرد. از مطالعات انجام‌شده در زمینه بهینه‌سازی سطح زیر کشت می‌توان به مطالعه‌ای که در منطقه فلسطین انجام شده، اشاره کرد. در این پژوهش با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی بهینه‌سازی آب آبیاری ۵ منطقه نوار غربی فلسطین مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج پژوهش یادشده نشان داد آب آبیاری با تغییر الگوی کشت تحت شرایط محدودیت‌های آب و زمین ۱۰ درصد کاهش می‌یابد [۲۸]. در پژوهشی از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی تخصیص آب و تعیین الگوی کشت بهینه منطقه کشاورزی تحت پوشش سد درودزن واقع در استان فارس استفاده شد و در شرایط آب‌وهوایی مختلف و کم‌آبیاری و آبیاری کامل الگوی کشت و آب تخصیصی مشخص شد [۲۹]. در پژوهشی دیگر، بهینه‌سازی با کمک الگوریتم فاخته در چهار شرایط آب‌وهوایی متفاوت با ترکیب سطوح احتمالاتی مختلف از بارندگی، تبخیر و جریان ورودی انجام شد. نتایج پژوهش یادشده بیانگر آن بود که در شرایط آب‌وهوایی نرمال، مرطوب، خشک و گرم و خشک سود حاصل از الگوی کشت جدید ارائه‌شده توسط مدل نسبت به الگوی کشت فعلی افزایش چشمگیری دارد و پیروی از الگوی کشت جدید تا حدود زیادی باعث کاهش مصرف آب این بخش می‌شود. به طوری که حجم آب ذخیره‌شده در مخزن در انتهای دوره بهره‌برداری در شرایط آب‌وهوایی مرطوب، نرمال، خشک و گرم و خشک نسبت به قبل از بهینه‌سازی افزایش یافته است [۳۰].

کاربرد نظریه بازی‌ها در تعیین برداشت بهینه منابع آب حوضه آبریز قره‌سو نشان داد الگوی کشت فعلی منطقه در وضعیت بهینه قرار ندارد و پیشنهاد شد که باید

کیلومتر مربع را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. حداقل ارتفاع ۲۲۱۲ متر مربوط به بخش جنوبی محدوده در مجاورت دشت بوئین- میاندشت و حداکثر ارتفاع آن، ۳۲۸۶ متر از سطح دریا، مربوط به قسمت‌های شمالی است [۳۵]. میانگین دمای منطقه ۸ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارندگی سالانه آن ۳۲۱ میلی‌متر است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه شده را نشان می‌دهد.

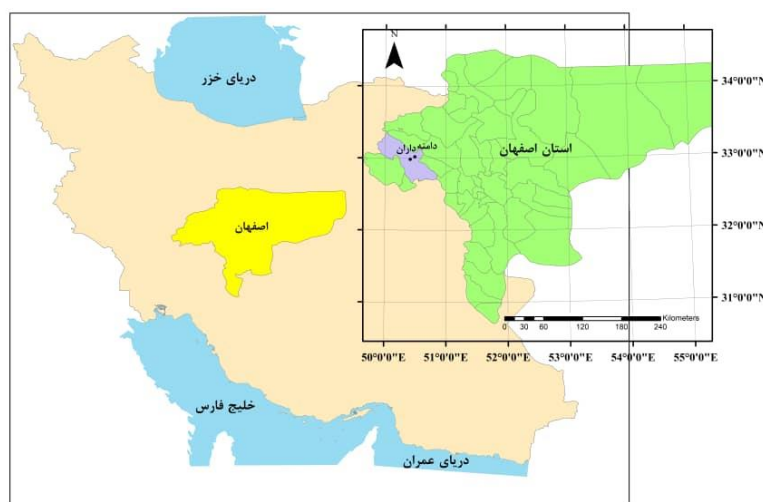
میزان خروجی آب از رودخانه داران و ورودی آن به دشت دامنه سه متر مکعب بر ثانیه بوده که به دلیل خشکسالی و برداشت‌های بی‌رویه در سال‌های اخیر تا ۸۰ لیتر در ثانیه کاهش یافته است. بیشتر از ۹۷ درصد از منابع آبی منطقه در بخش کشاورزی مصرف می‌شود [۳۶].

کشت و تخصیص آب آبیاری و حداکثرسازی سود حاصل از کشت محصولات زراعی دشت دامنه- داران استان اصفهان تحت سناریوی RPC8.5 گزارش پنجم تغییر اقلیم با کمک الگوریتم ژنتیک بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

منطقه دامنه- داران با وسعت حدود ۲۵ هزار هکتار در ۱۳۵ کیلومتری غرب اصفهان در طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و عرض ۳۲ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی قرار دارد و یکی از محدوده‌های مطالعاتی حوضه آبریز گاوخونی است. این محدوده در قسمت شمال غربی این حوضه آبریز و جزء استان اصفهان است. ۲۹۳/۸ کیلومتر مربع از وسعت این محدوده را دشت و ۴۱۷/۶



شکل ۱. موقعیت منطقه دامنه- داران در استان اصفهان

استفاده قرار گیرند. در روش ریزمقیاس‌سازی Proportional که ساده‌ترین شیوه ریزمقیاس‌سازی است، مقادیر اختلاف برای داده‌های دما و یا مقدار نسبت برای داده‌های بارش بین داده‌های دوره پایه و آتی GCM با روش عامل تغییر به دست می‌آیند. سپس، این مقدار اختلاف به سناریوهای مشاهده‌شده دما اضافه و مقادیر نسبت در سناریوهای مشاهده‌شده بارش ضرب می‌شوند تا سری‌های زمانی سناریوهای اقلیمی در آینده ریزمقیاس شوند. برای بررسی آماری و انتخاب مدل مناسب‌تر، در این مطالعه با استفاده از رابطه ریشه میانگین مربعات خطای

مدل‌های اقلیمی

داده‌های شبیه‌سازی شده به صورت بزرگ‌مقیاس هستند و برای استفاده از این داده‌ها نیاز به روش‌های ریزمقیاس‌سازی است که در این پژوهش از دو روش ریزمقیاس‌سازی آماری (مدل SDSM و Proportional) استفاده شد. در مدل SDSM یک ارتباط آماری با استفاده از رگرسیون ساده، چندمتغیره و شبکه عصبی بین رفتار واقعی ایستگاه و برون‌داد GCMS ایجاد می‌شود [۳۷]. بعد از راستی‌آزمایی، این معادلات می‌توانند در ریزمقیاس‌سازی پیش‌بینی‌های آینده با استفاده از سناریوهای انتشار مورد

نفوذپذیری و کمترین قابلیت تولید رواناب است. برای بررسی آماری مدل، در این مطالعه با استفاده از رابطه ضریب همبستگی قدرت شبیه‌سازی مدل برآورد شد.

تعریف مدل بهینه‌سازی و متغیرهای وابسته به آن
مدل به صورت یک برنامه غیرخطی با هدف معرفی مناسب‌ترین الگوی بهره‌برداری از رودخانه، تخصیص بهینه آن بین گیاهان مختلف و در نهایت، حداکثر کردن سود حاصل از کشت محصولات طراحی شده است. تابع هدف در این مدل بیشینه کردن درآمد ناخالص منطقه است، به طوری که به صورت هم‌زمان بهترین عملکرد را در تخصیص آب آبیاری برای آبیاری محصول زراعی در فصل آبیاری به دنبال داشته باشد که به شکل رابطه ۴ بیان می‌شود [۲۶].

بهینه‌سازی در این تحقیق توسط الگوریتم ژنتیک انجام شد، کاربرد متداول الگوریتم ژنتیک، استفاده از آن به‌عنوان تابع بهینه‌کننده است. در الگوریتم‌های ژنتیکی، شیوه تکامل ژنتیکی موجودات زنده شبیه‌سازی می‌شود [۳۹].

$$Z^* = \text{MAX} \sum_{i=1}^n [P_i (Y_i)_i - C_i] A_i \quad (4)$$

که در آن: n تعداد محصولات، i شاخص محصول، Z^* کل درآمد منطقه برحسب ریال، P_i قیمت فروش محصول i (ریال بر کیلوگرم)، C_i هزینه تولید محصول i (ریال در هکتار)، A_i مساحت کاشت محصول i (هکتار)، Y_i عملکرد نسبی همان تابع تولید محصول از آب (بدون بعد) است که به صورت رابطه ۵ ارائه شده است [۴۰].

$$Y_i = \frac{Y_a}{Y_{max}} = \prod_{i=1}^n \left(\frac{ET_a}{ET_{max}} \right)^{y_i} \quad (5)$$

درخور یادآوری است که میزان تبخیر به روش تورنت‌وایت محاسبه شد، سپس با کمک ضرایب گیاهی تبخیر-تعرق گیاه مرجع محاسبه شد. در این راستا، برای انتخاب مناسب‌ترین روش برآورد تبخیر به کمک سه روش فائو پنمن مانیتث، هارگریوز سامانی و تورنت‌وایت تبخیر در منطقه مطالعاتی محاسبه شد و با داده‌های مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت. بررسی نتایج حاصل نشان‌دهنده عملکرد بهتر روش تورنت‌وایت در مقایسه با دو روش دیگر در این منطقه بود (شکل ۲ و جدول ۲).

(RMSE) و رابطه میانگین خطای اریبی (MBE) و ضریب همبستگی (R) قدرت شبیه‌سازی داده‌های تاریخی هر مدل برآورد شد [۳۸].

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P)^2}{n}} \quad (1)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P)}{n} \quad (2)$$

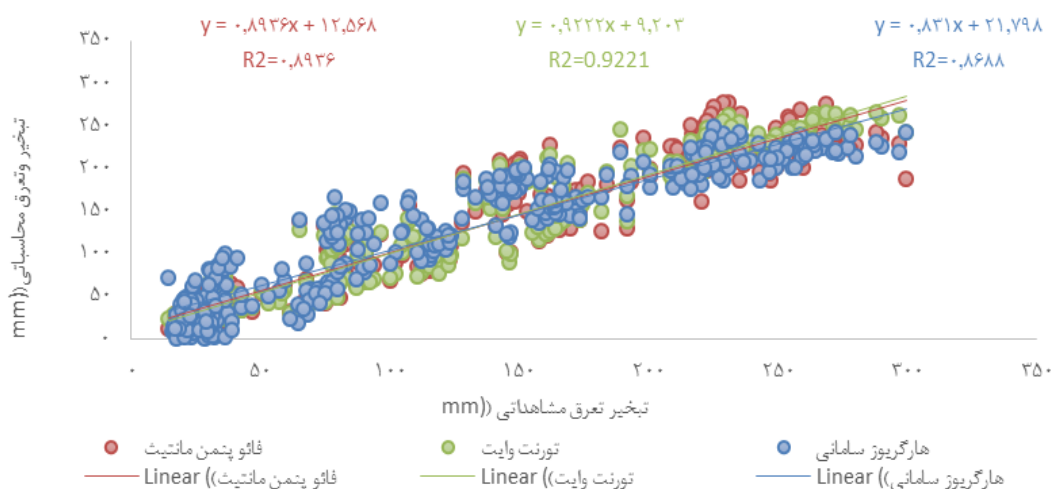
$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (3)$$

مدل‌سازی هیدرولوژیکی

شبیه‌سازی رواناب توسط مدل هیدرولوژیکی AWBM انجام شد. این مدل، یک مدل سطوح جزئی جریان سطحی اشباع است که از بارش روزانه و ساعتی و تبخیر متوسط ماهانه برای محاسبه رواناب روزانه و ساعتی استفاده می‌کند. مدل AWBM بر اساس نظریه جریان از سطوح جزئی اشباع که مشابه نظریه جریان سطحی اشباع است، شکل گرفته است. مدل AWBM از ظرفیت‌های ذخیره سطحی با $Store_1$ ، $Store_2$ ، $Store_3$ مساحت‌های A_1 ، A_2 ، A_3 برای شبیه‌سازی سطوح رواناب استفاده می‌کند و بیلان آبی هر سطح ذخیره‌ای را مستقل از بقیه در گام‌های زمانی روزانه یا ساعتی محاسبه می‌کند. بیلان آب برای هر یک از این سه جزء به طور مستقل محاسبه می‌شود. مدل برای هر بخش از رواناب بیلان رطوبتی را محاسبه و در هر گام زمانی بارندگی را به هریک از سه ذخیره سطحی اضافه کرده و تبخیر و تعرق را از آن‌ها کم می‌کند. پارامترهای به‌کاررفته در این مدل عبارت‌اند از: BFI شاخص جریان پایه؛ K ثابت فروکش جریان پایه. هنگام بارندگی ابتدا ظرفیت ذخیره سطحی C_1 پر می‌شود. این ظرفیت مربوط به مناطقی از حوضه با نفوذپذیری کم و توان تولید رواناب زیاد، همانند مناطق صخره‌ای است. بعد از ذخیره C_1 ، به ترتیب ذخایر C_2 و C_3 پر می‌شوند. ظرفیت ذخیره C_2 دارای نفوذپذیری بیشتر نسبت به ذخیره C_1 و قابلیت تولید رواناب کمتر نسبت به آن است و ذخیره C_3 نیز مربوط به مناطق با بیشترین ذخیره سطحی، بیشترین

جدول ۱. میانگین قیمت فروش محصولات زراعی در بازه‌های زمانی مطالعاتی (۲۰۰۰-۲۰۱۶) و (۲۰۱۷-۲۰۳۰)

محصول	گذشته	آینده
گندم	۱۳۰۰۰	۵۷۹۱۰
جو	۱۰۳۰۰	۴۵۸۸۳
سیب‌زمینی	۴۲۳۷	۱۸۸۷۴
چغندر	۳۰۹۱	۱۳۷۶۹
ذرت علوفه‌ای	۷۷۲	۳۴۳۹



شکل ۲. نمودار داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های برآوردشده تاریخی تبخیر مربوط به سه فرمول

جدول ۲. R، RMSE، MBE و داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های برآوردشده تاریخی تبخیر هر مدل

هزارگزیوز سامانی	تورنت وایت	فائو پنمن مانتیث	
۰/۹۳۲۰	۰/۹۶۰۲	۰/۹۴۵۳	R
۳۰/۸۷۳۹	۲۳/۵۹۹۲	۲۷/۵۷۵۴	RMSE
۹۵۳/۱۹۹۶	۵۵۶/۹۲۳۰	۷۶۰/۴۰۳۶	MBE

دو دسته داده‌های مشاهده‌ای سال‌های پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۵) و داده‌های تاریخی برآوردشده توسط مدل‌های اقلیم جهانی (اخذشده از مراکز داده‌های پیش‌فرض مسیرهای متمرکز مرجوع (RCP)) است. این داده‌ها شامل میانگین دمای روزانه و مجموع بارش روزانه از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۵ بوده که توسط دو مدل ریزمقیاس شده‌اند. برای بررسی دقت مدل‌های اقلیمی، آماره‌های RMSE و MBE در مقیاس سالانه محاسبه شد و سپس، میانگین این دو پارامتر طی ۳۰ سال پایه به دست آمد.

هر تابع هدفی که نوشته می‌شود، دارای یک سری محدودیت‌ها است که عملکرد مدل را با شرایط واقعی منطقه تطبیق می‌دهد. از قیدهای استفاده‌شده در این تحقیق می‌توان به محدودیت‌های رطوبت آب در خاک، نیاز آبی گیاه، آب آبیاری تخصیصی به گیاه، تخصیص آب به گیاه، تبخیر-تعرق واقعی، بیلان آب و محدودیت سطح زیر کشت اشاره کرد که بیشتر این قیدها و روابط در مرجع قابل دسترس هستند [۳۰]. داده‌های مورد استفاده در مدل‌های ریزمقیاس، شامل

نتایج و بحث

مقادیر RMSE، MBE برای پارامتر دما در داده‌های برآوردشده توسط مدل SDSM کمتر از مقادیر آن‌ها توسط مدل Proportional-Downscaling بوده و علاوه بر این، مقادیر آماره R برآوردشده توسط این مدل نسبت به مدل تناسبی بیشتر به دست آمد. بیشتر بودن مقدار آماره‌های MBE و RMSE پارامتر بارش در مدل تناسبی نسبت به مدل جزئی، اما مقدار آماره R برآوردشده توسط مدل SDSM برای پارامتر بارش نسبت به مقدار ریزمقیاس‌سازی تناسبی به میزان قابل توجهی بزرگ‌تر و نزدیک‌تر به یک است. به این ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که برای مطالعات تغییر اقلیم این منطقه از کشور، مدل SDSM برای شبیه‌سازی پارامترهای دما و بارش از دقت مناسب‌تری برخوردار است (جدول ۳).

نتایج همچنین نشان داد در سال‌های آتی و در ماه‌های اسفند تا خرداد، مقدار بارش افزایش و مقدار دما کاهش و از تیرماه تا بهمن‌ماه این روند معکوس می‌شود و مقدار بارش کاهش و میزان دما افزایش خواهد یافت (شکل ۳). این موضوع بیانگر تأثیرپذیری زیاد شرایط طبیعی رشد گیاهان منطقه تحت تأثیر تغییر اقلیم است و عملکرد محصولات کشاورزی منطقه را دستخوش تغییرات زیاد خواهد کرد. به این منظور، در مطالعه پیش رو به ترتیب آثار تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات زراعی، سودآوری الگوی کشت فعلی در شرایط اقلیمی آینده و الگوی کشت سازگار با شرایط آتی منطقه مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

یکی دیگر از پارامترهای هیدرولوژیکی استفاده‌شده در این پژوهش، حجم آورده رودخانه است که توسط مدل AWBM محاسبه شد. اگر حجم آورد رودخانه از مقدار آب تخصیص‌یافته به گیاه کمتر باشد، مدل خود را با شرایط جدید وفق می‌دهد و سطح زیر کشت برخی محصولات را کاهش و برخی دیگر را صفر می‌کند، صفر در نظر گرفتن

سطح زیرکشت یک گیاه، به مفهوم تعویض محصول مورد نظر با محصول دیگری است که نیاز آبی کمتری دارد. همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، در این حوضه سطح A_۱، مناطقی با کمترین نفوذپذیری و ظرفیت ذخیره C_۱ برابر با ۵ میلی‌متر مساحتی معادل ۳۲۱ کیلومتر مربع (۳۲ درصد از سطح حوضه)، سطح A_۲ مناطقی با نفوذپذیری متوسط و ظرفیت ذخیره C_۲ برابر با ۴۱۲ میلی‌متر مساحتی معادل ۳۰۵ کیلومتر مربع (۳۰ درصد از سطح حوضه)، سطح A_۳ مناطق با نفوذپذیری حداکثر و ظرفیت ذخیره C_۳ برابر با ۵۱۶ میلی‌متر مساحتی معادل ۳۷۴ کیلومتر مربع (۳۷ درصد از سطح حوضه) را در بر می‌گیرد.

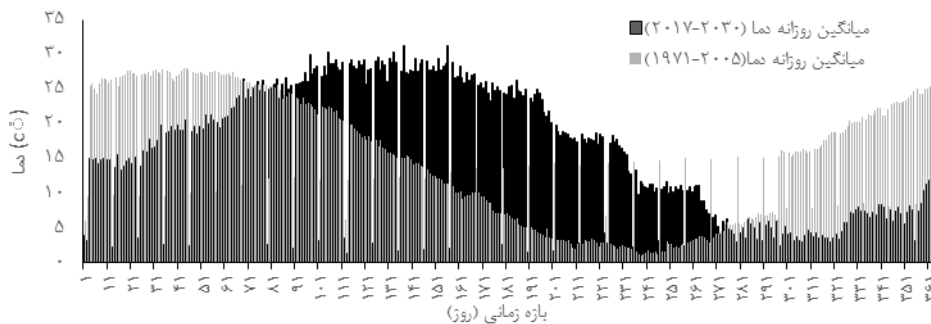
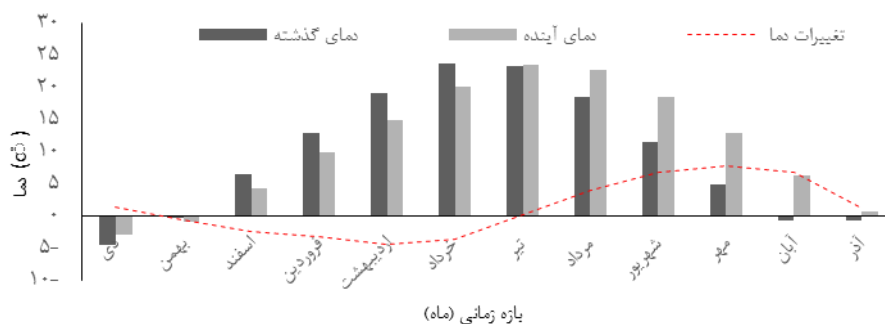
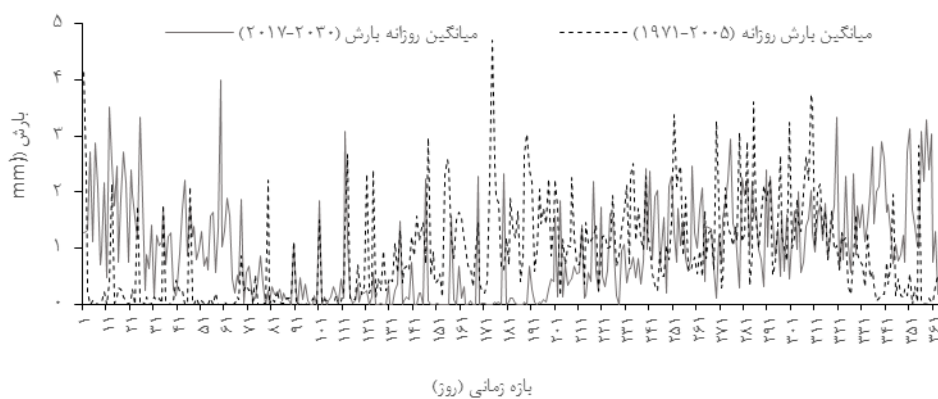
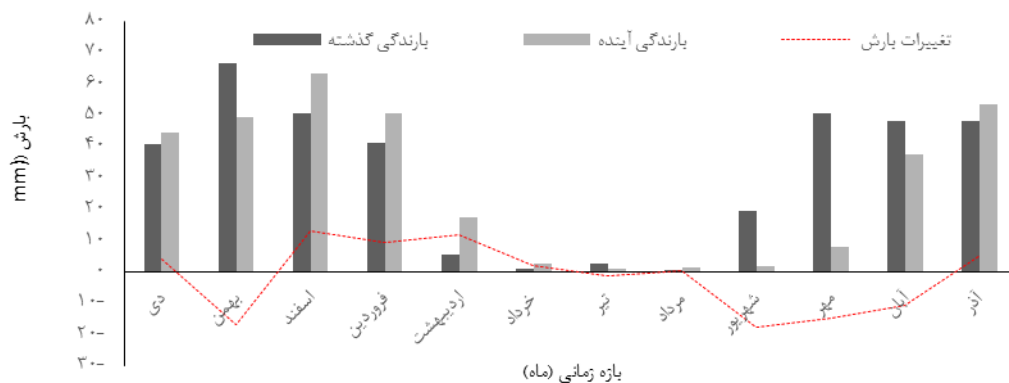
در این حوضه سطوح A_۱، A_۲ و A_۳ به ترتیب ۱۶، ۷۷ و ۰/۸ درصد از کل رواناب تولیدی را در بر داشته و قسمت عمده‌ای از حوضه (۶۷ درصد) با نفوذ بالا تا متوسط، فقط مقدار کمی (۲۲ درصد) از رواناب حوضه را تولید می‌کند. ضریب همبستگی ۷۵ درصدی به دست آمده بین رواناب ماهانه مشاهداتی و محاسباتی مشخص می‌کند که این مدل می‌تواند به خوبی مقدار رواناب، آب پایه و رواناب سطحی را در سطح حوضه شبیه‌سازی کند (جدول‌های ۴ تا ۶).

مقدار رواناب در سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۳۰ در ماه‌های مهر تا بهمن نسبت به سال‌های قبل کاهش داشته و در ماه اسفند تا خرداد نسبت به دوره‌های قبل افزایش داشته است که این خود روی حجم آب تخصیصی بر منطقه تأثیر به‌سزایی دارد (شکل‌های ۴ الف و ب).

نتایج عملکرد نسبی (Ya/Ym) در شرایط آینده حاصل از الگوریتم ژنتیک به‌عنوان اولین خروجی کارآمد مدل بهینه‌سازی نشان داد در بین محصولات موجود در الگوی کشت، گندم و جو به ترتیب از بیشترین مقدار عملکرد و چغندر قند، سیب‌زمینی و ذرت علوفه‌ای به ترتیب از کمترین مقدار عملکرد برخوردار خواهند بود (جدول ۷).

جدول ۳. میانگین RMSE، MBE و R داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های برآوردشده تاریخی دما و بارش هر مدل

RMSE		MBE		R		مدل
بارش	دما	بارش	دما	بارش	دما	
۷/۵۱	۸/۳۴	-۱/۲۸	۶/۲۸	۰/۷۸۳۴	۰/۹۸۶۷	SDSM
۷/۲۷	۸/۵۸	-۱/۲۵	۶/۶۸	۰/۶۳۶۵	۰/۹۶۸۷	Proportional



شکل ۳. نمودار مقایسه‌ای میانگین بارش روزانه، میانگین مجموع بارش ماهانه، میانگین دمای روزانه و ماهانه طی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۳۰ و ۲۰۱۷-۲۰۳۰

جدول ۴. پارامترهای واسنجی شده مدل و نتایج مقایسه رواناب شبیه‌سازی و مشاهده‌ای حوضه طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۶ و ۲۰۱۷-۲۰۳۰

پارامترهای دبی		ظرفیت ذخیره سطحی (mm)			درصد سطوح متناظر با ظرفیت‌های ذخیره		
K	BFI	C ₁	C ₂	C ₃	A ₁	A ₂	A ₃
۱	۰/۸	۵	۴۱۲	۵۱۶	۰/۳	۰/۳	۰/۴

درصد هر سطح تولیدکننده رواناب

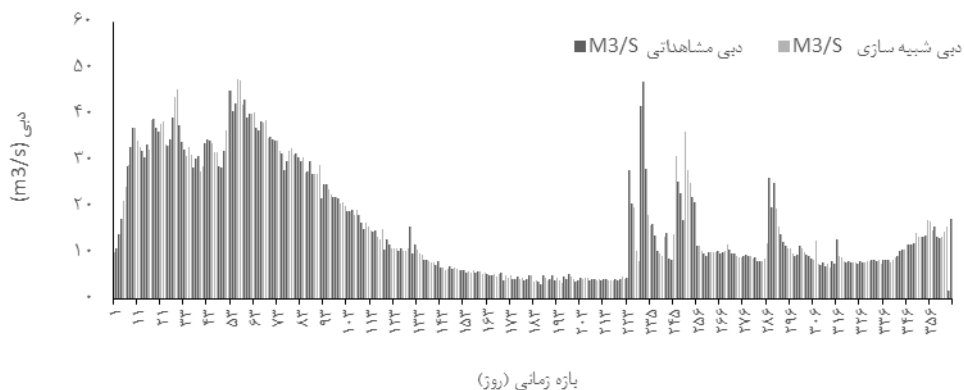
جدول ۵. بررسی رواناب ایجادشده توسط هر یک از سطوح

A ₃	A ₂	A ₁
۴۶۲۰۵	۴۳۹۰/۲	۵۲۸۳۰۴
۱۵۳۰۲۰	۲۸۴۰۰	۱۶۸۳۰
۰/۷۷	۰/۱۴	۰/۰۸

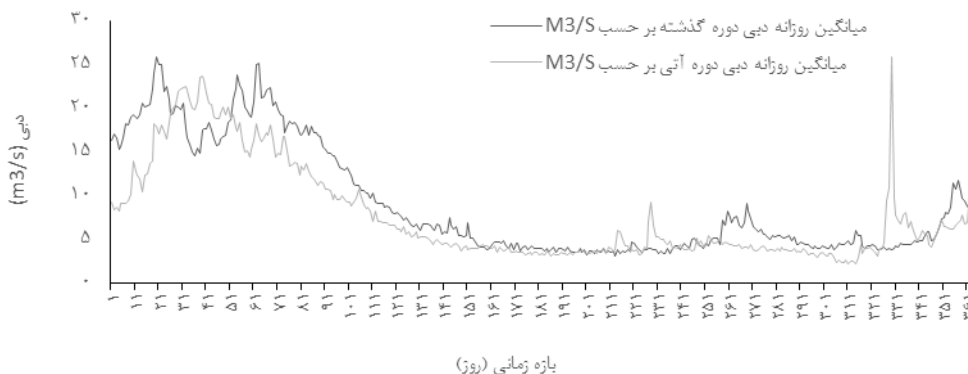
سطوح تولیدکننده رواناب (km²)
مقدار رواناب ایجادشده از هر سطح (mm)
نسبت رواناب هر سطح به کل رواناب حوضه (/)

جدول ۶. نتایج رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای

نوع پارامتر	آب پایه (mm)	رواناب سطحی (mm)	مجموع کل رواناب (mm)	ضریب همبستگی بین رواناب ماهانه مشاهده‌ای و محاسباتی
مقادیر مشاهده	۳۱۴۶۵/۶۰	۸۸۷۴/۳۰	۴۰۳۳۹/۹۰	-----
مقادیر محاسبه با کمک مدل AWBM	۶۴۷۲۴/۳	۱۸۲۵۶/۲۰	۸۲۹۸۰/۵۱	۰/۷۵



شکل ۴. الف - نمودار مقایسه میانگین سالانه داده‌های روزانه دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده سال‌های ۱۹۷۱-۲۰۰۰



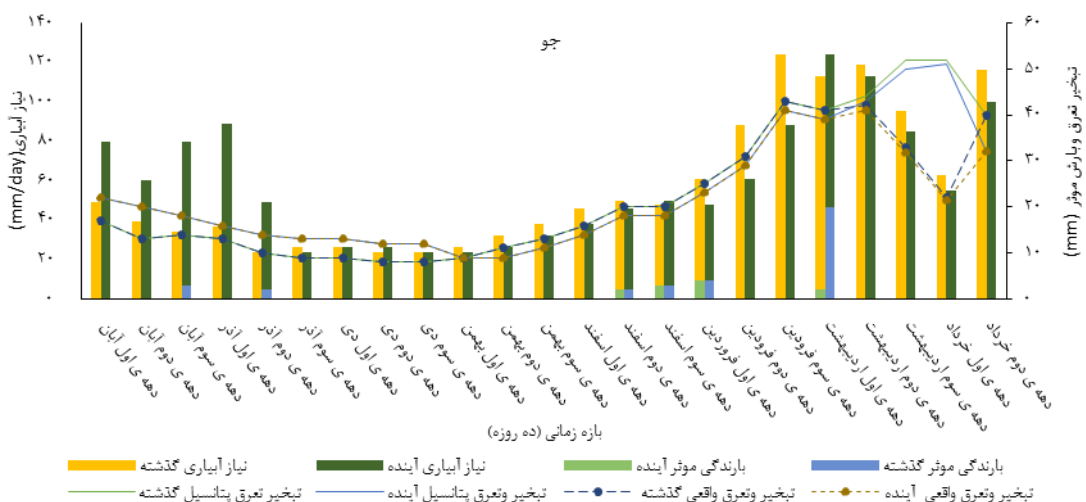
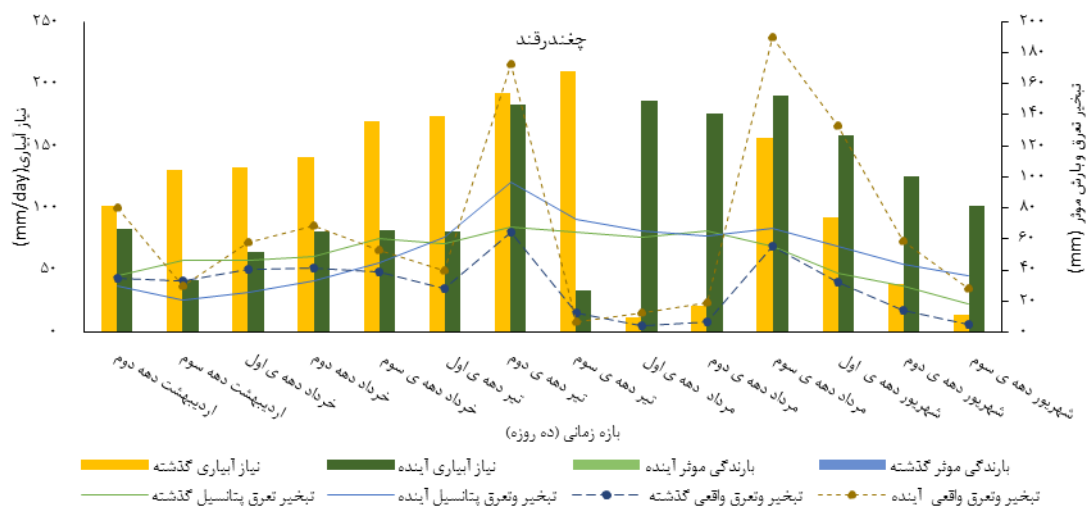
شکل ۴. ب - نمودار مقایسه میانگین روزانه دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده سال‌های ۱۹۷۱-۲۰۰۵ و ۲۰۱۷-۲۰۳۰

جدول ۷. عملکرد نسبی (Ya/Ym) در شرایط فعلی و آینده حاصل از الگوریتم زنتیک

نام محصول	سطح (هکتار)	تولید کل (تن)	عملکرد نسبی محصولات	عملکرد نسبی سی	سال آینده
گندم	۲۹۵۰	۱۲۳۹۰	۱		۰/۹۶
جو	۱۵۰۰	۶۱۵۰	۱		۰/۹۵
سیبزمینی	۴۰۰۰	۸۸۰۰۰	۱		۰/۶۲
ذرت علوفه‌ای	۸۰۰	۴۴۰۰۰	۱		۰/۶۸
چغندرقد	۵۱۶	۲۴۶۶۹	۱		۰/۶۰

پایه و اساس مدل به‌گونه‌ای است که وقتی بارندگی نیاز آبی گیاهان را تأمین می‌کند، نیازی به آبیاری نیست، یعنی مدل ابتدا نیاز آبی گیاهان را به وسیله آب سبز تأمین می‌کند و در ادامه، در صورت عدم تأمین کامل نیاز آبی گیاه از طریق بارندگی، تخصیص آب انجام می‌گیرد. استفاده از ضریب K_y در طراحی مدل سبب شده که مدل به دوره‌های رشد گیاه توجه کرده و آب آبیاری تخصیصی به گیاهان طی

دوره رشد بیشتر از دوره بازدهی و برداشت محصول باشد. با تغییر الگوی آب‌وهوایی در ماه‌های همراه با افزایش بارندگی و کاهش دما، آب آبیاری مورد نیاز محصولات کاهش یافته و مدل در چنین ماه‌هایی، نیاز آبی گیاه را کمتر از دوره‌های گذشته برآورد کرده و به‌عکس در ماه‌هایی که با افزایش دما و کاهش بارش همراه است، نیاز آبی گیاه بیشتر از دوره‌های قبل تخمین زده می‌شود (شکل ۵).





شکل ۵. میانگین سالانه بارندگی موثر، تبخیر - تعرق پتانسیل، تبخیر - تعرق واقعی، نیاز آبیاری گیاه برای محصولات در شرایط آب‌وهوایی فعلی و آینده طی سال‌های ۱۹۷۱-۲۰۰۵ و ۲۰۱۷-۲۰۳۰

جدید سعی در حفظ سود کلی کشاورزان منطقه دارد، در این زمینه مدل سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای را به دلیل نیاز آبی بالا و سودآوری پایین به صفر رسانده و با تغییر سایر سطوح زیر کشت سطح زیر کشت سیب‌زمینی را ۳۹۳۵/۵ هکتار افزایش داده است (جدول ۸).

با پیروی از الگوی کشت بهینه می‌توان با حفظ سود کلی کشاورزان، به مقدار ۱۸/۲۱ میلیون متر مکعب در حجم آب مصرفی کشاورزان نیز صرفه‌جویی کرد که با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، این حجم آب می‌تواند تأمین‌کننده بخشی از کمبود حق آبه زیست‌محیطی منطقه باشد (جدول ۹).

سود و الگوی کشت حاصل از کشت محصولات در شرایط متفاوت آب‌وهوایی (گذشته و آینده) با استفاده از الگوریتم ژنتیک در جدول ۸ نشان داده شده است. تخصیص اراضی به محصولات مختلف در مدل بر اساس حجم آب در دسترس، نیاز آبی گیاه، عملکرد محصول و در نهایت، سود کلی بیشتر انجام می‌گیرد. اگر کشاورزان منطقه طی سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۳۰ از الگوی کشت فعلی پیروی کنند، با توجه به تغییرات آب‌وهوایی ایجادشده، جمع سود کلی کشاورزان منطقه ۴۴/۶۹ درصد کاهش می‌یابد. برای مدیریت این شرایط، مدل با در نظر گرفتن دما، بارش، تبخیر-تعرق منطقه، حجم آب تخصیصی و نیاز آبی گیاه و محاسبه عملکرد گیاه در شرایط آب‌وهوایی

جدول ۸. میانگین سود و الگوی کشت حاصل از کشت محصولات در شرایط متفاوت آب‌وهوایی (گذشته و آینده) بین سال‌های ۱۹۷۱-۲۰۰۵ و ۲۰۱۷-۲۰۳۰ با استفاده از الگوریتم ژنتیک

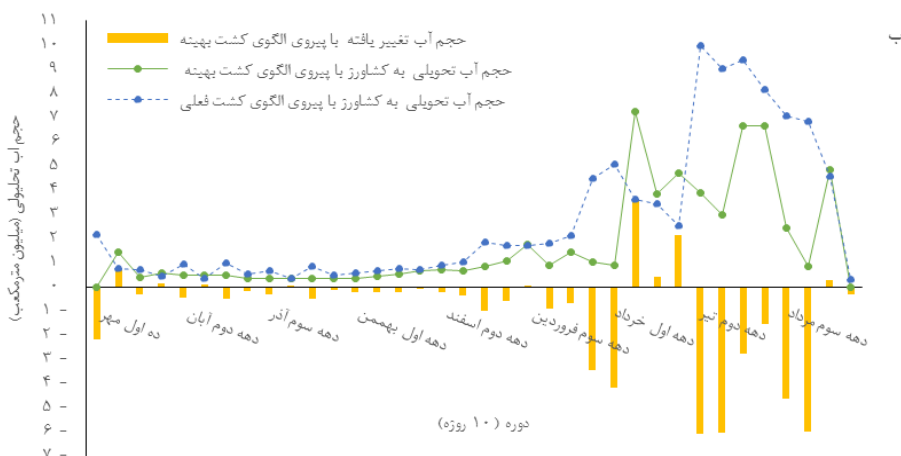
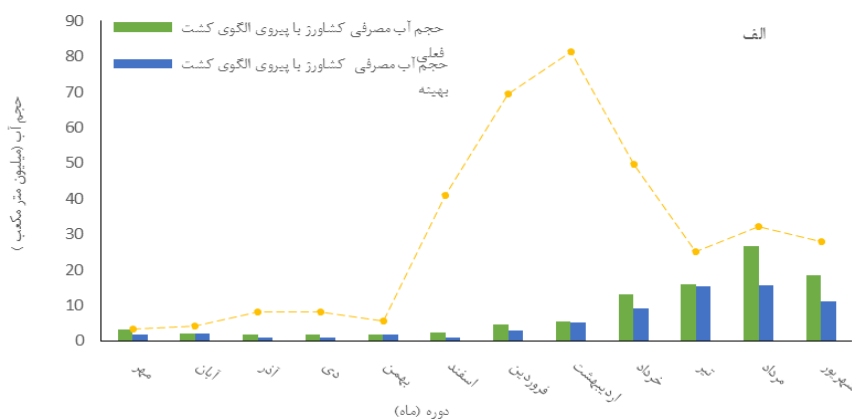
نام محصول	سطح زیر کشت اولیه (هکتار)	سود فعلی کشاورز (میلیون تومان)	سود کشاورز با حفظ الگوی کشت فعلی در سال‌های آینده (میلیون تومان)	مقدار کاهش سود کشاورز در سال‌های آتی به دلیل تغییر اقلیم (میلیون تومان)	درصد کاهش سود کشاورز به دلیل تغییر اقلیم	درصد تغییر سود کشاورز با پیروی از الگوی بهینه نسبت به الگوی کشت فعلی سال‌های آینده	تغییر سطح زیر کشت
گندم	۲۹۵۰	۳۷۵۲۱/۹	۳۶۱۳۲/۲	-۱۳۸۹/۷	-۳/۷۱	-۷۶/۱۳	-۲۱۳۰/۶۱
جو	۱۵۰۰	۱۷۵۴۷/۳	۱۶۷۹۲/۱	-۷۵۵/۲	-۴/۳۲	-۸۲/۹۱	-۱۱۷۶/۱۱
سیب‌زمینی	۴۰۰۰	۱۸۶۲۴۷/۸	۷۹۶۹۰/۴	-۱۰۶۵۵۷/۵	-۵۷/۲۲	۵۷/۴۰	۳۹۳۵/۵۲
چغندر قند	۸۰۰	۱۳۲۷۶/۵	۸۰۰۵/۱	-۵۲۷۱/۴	-۳۹/۷۴	-۳۲/۷۱	-۱۱۲/۸۱
ذرت علوفه‌ای	۵۱۶	۱۵۷۸	۱۰۷۶/۸	-۵۰۱/۲	-۳۱/۸۱	-۱۴۶/۵۱	-۵۱۶۰
مجموع	۹۷۶۶	۲۵۶۱۷۱	۱۴۱۶۹۶/۵۲	-۱۱۴۴۷۴/۹۱	-۴۴/۷۰	۰/۱۰	-
نام محصول	سطح زیر کشت بهینه (ha)	سود حاصل از الگوی کشت بهینه (میلیون تومان)	تغییر مساحت‌ها	نسبت به الگوی کشت قدیمی (میلیون تومان)	نسبت به سال‌های جاری (میلیون تومان)	درصد تغییر سود کشاورز با پیروی از الگوی بهینه نسبت به سود فعلی	
گندم	۸۱۹/۴۱	۱۰۰۳۶/۴	۲۱۳۰/۶۰	-۲۶۰۹۵/۸۲	-۲۷۴۸۵/۵۲	-۷۳/۳۲	
جو	۳۲۳/۹۰	۳۶۲۵/۵۳	۱۱۷۶/۱۱	-۱۳۱۶۶/۶۱	-۱۳۹۲۱/۸۱	-۷۹/۳۱	
سیب‌زمینی	۷۹۳۵/۵۱	۲۳۲۰۱۲	-۳۹۳۵/۵۲	۱۶۲۳۲۱/۶۱	۴۵۷۶۴/۱۱	۲۴/۶۰	
چغندر قند	۶۸۷/۲۲	۱۰۶۶۰/۸۲	۱۱۲/۸۳	۲۷۵۹۴۱	-۲۶۱۵/۷۱	-۱۹/۷۰	
ذرت علوفه‌ای	.	.	۵۱۶	-۱۰۷۶/۸۰	-۱۵۷۸	-۱۰۰	
مجموع	۹۷۶۶	۲۵۶۳۳۴/۶۱	.	۱۱۴۶۳۸/۱۱	۱۶۳/۶	۰/۱۰	

جدول ۹. مقدار آب تحویلی به محصولات قبل و بعد از بهینه‌سازی

محصول	مقدار آب تحویلی به هر محصول با الگوی کشت فعلی (میلیون مترمکعب)	مقدار آب تحویلی به هر محصول با الگوی کشت بهینه (میلیون مترمکعب)
گندم	۲۷/۱۶	۷/۵۴
جو	۱۷/۱۰	۳/۶۹
سیب‌زمینی	۶/۰۴	۴۳/۸۸
ذرت علوفه‌ای	۶/۰۴	۰
چغندر قند	۶/۴۶	۵/۵۵
جمع کل	۷۸/۸۹	۶۰/۶۷
مقدار آب ذخیره شده		۱۸/۲۱

مناسب منطقه است. یکی دیگر از قیدهای استفاده شده در این تحقیق محدودیت تخصیص آب با توجه به حجم آب در دسترس است که همواره باید رعایت شود، کمتر بودن حجم آب تخصیصی به کشاورزان نسبت به حجم آب در دسترس خود نشان‌دهنده تأمین این قید است (شکل ۶).

در بیشتر دوره‌های بهره‌برداری حجم آب تحویلی به کشاورز کاهش چشمگیری داشته، به طوری که در دوره‌های گرم که حجم آب در دسترس کاهش و مصرف آب افزایش می‌یابد (اواسط تیر و اواخر شهریور) حجم آب تحویلی به کشاورزان کاهش یافته که این خود نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل در تعیین الگوی کشت



شکل ۶. حجم آب تحویلی و مصرفی کشاورز قبل و بعد از بهینه‌سازی

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از اجرای مدل در بخش تغییر اقلیم نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل SDSM در شبیه‌سازی دو پارامتر بارش و دما نسبت به مدل ریزمقیاس‌سازی تناسبی در منطقه فریدن است. نتایج حاصل از اجرای این مدل نشان داد در سال‌های ۲۰۱۷ - ۲۰۳۰ نسبت به سال‌های گذشته در ماه‌های اسفند تا خرداد مقدار بارش افزایش و دما کاهش خواهد داشت و به تبع آن، از تیرماه تا بهمن‌ماه این روند معکوس شده و مقدار بارش کاهش و دما افزایش خواهد داشت که با توجه به تاریخ کاشت محصولات و دوره رشد آن‌ها، این تغییرات تأثیر به‌سزایی بر عملکرد محصولات زراعی این منطقه خواهد داشت.

نتایج برآورد میزان آب در دسترس در دوره زمانی آینده با استفاده از مدل AWBM نشان داد ضریب همبستگی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های تاریخی برابر ۷۵ درصد است که این موضوع بیانگر این است که مدل به‌خوبی می‌تواند مجموع رواناب، آب‌پایه و رواناب سطحی را در این حوزه شبیه‌سازی کند. نتایج این مدل بیانگر این بود که مقدار رواناب در سال‌های ۲۰۱۷ - ۲۰۳۰ در ماه‌های مهر تا بهمن نسبت به سال‌های قبل کاهش و در ماه‌های اسفند تا خرداد نسبت به دوره‌های قبل افزایش داشته است، یعنی حجم آب در دسترس طی دوره کشت و رشد برخی محصولات زراعی کاهش یافته که خود سبب کاهش عملکرد این محصولات و کاهش سود کشاورزان منطقه می‌شود. در ادامه، برای تعدیل آثار سوء این مشکل، از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک با در نظر گرفتن قیدهای ویژه برای پارامترهای دما، بارش، تبخیر- تعرق، حجم آب تخصیصی و نیاز آبی گیاه سعی شد سود کلی کشاورزان منطقه حفظ شود. نتایج حاصل از اجرای مدل نشان داد می‌توان با کاهش سطح زیر کشت محصولات گندم، جو، چغندر قند و ذرت علوفه‌ای به ترتیب به مقدار ۲۱۳۰/۶، ۱۱۷۶/۱، ۱۱۲/۸ و ۵۱۶ هکتار و افزایش سطح زیر کشت محصول سیب‌زمینی به مقدار ۳۹۳۵/۵ هکتار در بازه زمانی ۲۰۱۷ - ۲۰۳۰ نه تنها می‌توان از حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی به میزان ۱۸/۲۱ میلیون مترمکعب کاست، بلکه می‌توان سود کلی کشاورزان منطقه را به میزان ۱۶۳ میلیون تومان افزایش داد.

منابع

- [1]. Ashraf Vaghefi S, Abbaspour N, Kamali B, Abbaspour K.C. A toolkit for climate change analysis and pattern recognition for extreme weather conditions – Case study: California-Baja California Peninsula. *Environmental Modelling & Software*. 2017; 96: 181-198.
- [2]. Ouyang F, Zhu Y, Fu G, Lü H, Zhang A, Yu Z, Chen X. Impacts of climate change under CMIP5 RCP scenarios on streamflow in the Huangnizhuang catchment. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 2015; 29(7): 1781- 1795.
- [3]. Van Vuuren, D.P, Edmonds J, Kainuma M, Riahi K, Thomson A, Hibbard K, Hurtt G.C, Kram T, Krey V, Lamarque J.F, Masui T, Meinshausen M, Nakicenovic N, Smith S.J, Rose S.K. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*. 2011; 109: 1- 5.
- [4]. Ho J. T, Thompson J. R, Brierley C. Projections of hydrology in the Tocantins Araguaia Basin, Brazil: uncertainty assessment using the CMIP5 ensemble. *Hydrological Sciences Journal*. 2016; 61(3): 551-567.
- [5]. Kim J, Choi J, Choi C, Park S. Impacts of changes in climate and land use/land cover under IPCC RCP scenarios on streamflow in the Hoeya River Basin, Korea. *Science of the Total Environment*. 2013; 452: 181-195.
- [6]. Kwak J, Kim S, Singh V.P, Kim H.S, Kim D, Hong S, Lee K.. Impact of climate change on hydrological droughts in the upper Namhan River basin, Korea. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2015; 19(2): 376-384.
- [7]. Tan M. L, Ibrahim A. L, Yusop Z, Chua V. P, Chan N. W. Climate change impacts under CMIP5 RCP scenarios on water resources of the Kelantan River Basin, Malaysia. *Atmospheric Research*. 2017; 189: 1-10.
- [8]. Vaighan A. A, Talebbeydokhti N, Bavani A. M. Assessing the impacts of climate and land use change on streamflow, water quality and suspended sediment in the Kor River Basin, Southwest of Iran. *Environmental Earth Sciences*. 2017; 76(15): 1- 18.
- [9]. Houshmand Kouchi D, Esmaili K, Faridhosseini A, Sanaei-Nejad S. H, Khalili D. Simulation of climate change impacts using fifth assessment report models under RCP scenarios on water resources in the upper basin of Salman Farsi dam. *Iranian journal of irrigation and drainage*. 2019; 2(13): 243- 258. (In Persian).

- [10]. Blanco M, Cortignani R, Severini S. Evaluating changes in cropping patterns due to the 2003 CAP reform, an ex-post analysis of different pmp approaches considering new activities. Presentation at the 107th EAAE Seminar Modelling of Agricultural and Rural Development Policies. 2007: 15 P.
- [11]. Withey P, Kooten C. The effect of climate change on land use and wetlands conservation in western Canada. Resource Economics & Policy Analysis. Research Group Department of Economics University of Victoria. 2011. 23 P.
- [12]. Terry G. Climate, change and insecurity: Views from a Gisu hillside. Doctoral thesis, University of East Anglia. 2011.
- [13]. Chijioke O.B, Haile M, Waschkeit C. Implication of climate change on crop yeild and food accessibility in sub-Sahran Africa. MSc Thesis, Bon University. 2011. 31 P.
- [14]. Soleymaninejan S, Dourandish A, Sabouhisabouni M. Banayanaval M. The effects of climate change on cropping pattern (Case study: Mashhad plain). *Iranian journal of agricultural economics and development research*. 2019; 50(2): 249- 263. (In Persian).
- [15]. Azuara J, Howitt R, MacEwan D, Lund J. Economic impacts of climate-related changes to California agriculture. *Journal of Climatic Change*. 2011; 109: 387-405.
- [16]. Connor J, Kirby M, Schwabe K, Liukasiewicz A, Kaczan D. Impacts of reduced water availability on lower murray irrigation, Australia, socio-economics and the environment in discussion. CSIRO working paper series. 2008. 7- 11.
- [17]. Ozkan B, Akcaoz H. Impacts of climate factors on yields for selected crops in southern Turkey. *Journal of Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2002; 7: 367–380.
- [18]. Semenov M.A. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Climate Research*. 2008; 35: 203-212.
- [19]. Mislán M, Haviluddin H, Hardwinarto S, Sumaryono B, Aipassa M. Rainfall monthly prediction based on Artificial Neural Network: A case study in Tenggara Station, East Kalimantan – Indonesia. *Journal of Computer Science*. 2015; 59: 142 –151.
- [20]. Shafie A.H, El-Shafie A, Hasan G, Mazoghi A, Mohd R. Artificial neural network technique for rainfall forecasting applied to Alexandria. *International Journal of the Physical Sciences*. 2011; 6: 1306-1316.
- [21]. Aksorn P, Srinilta Ch. Statistical Downscaling for rainfall and temperature prediction in Thailand. Proceedings of the international multi conference of engineers and computer scientists. 2011; MARCH 16 – 18, Hong Kong.
- [22]. Ashofteh P. S, Haddad O. B, Mariño M. Climate Change Impact on Reservoir Performance Indexes in Agricultural Water Supply. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2013; 139(2): 85–97.
- [23]. Zhou Y, Guo S. Incorporating ecological requirement into multipurpose reservoir operating rule curves for adaptation to climate change. *Journal of Hydrology*. 2013; 498: 153–164
- [24]. Huang J, Zhang J, Zhang Z, Sun S, Yao J. Simulation of extreme precipitation indices in the Yangtze River basin by using statistical downscaling method (SDSM). *Theoretical and Applied Climatology*. 2012; 108(3–4): 325–343.
- [25]. Coulibaly P, Dibike Y. B, Anctil F, Coulibaly P, Dibike Y. B, Anctil F. Downscaling precipitation and temperature with temporal neural networks. *Journal of Hydrometeorology*. 2005; 6(4): 483–496.
- [26]. Goodarzi E, Dastorani M, Massahbavani A, Talebi A. Evaluation of the change-factor and LARS-WG methods of downscaling for simulation of climatic variables in the future (Case study: Herat Azam Watershed, Yazd - Iran). *ECOPERSIA*. 2015; 3(1): 833–846. (In Persian).
- [27]. Zarrin H, Moghadamnia A, Namdroust J, Sadeghi S. H. Evaluation of AWBM model performance in simulation of rainfall -runoff process in nNon-statistics areas. Third conference on water resources management, Tabriz, Iranian association of water resources science and engineering, Tabriz University. 2008. (In Persian).
- [28]. Dima W. Nazer A, Amaury Tilmant B, Ziad Mimi C, Maarten A. Siebel B, Pieter Vander Zaag B. E, Huub J. Gijzen d. Optimizing irrigation water use in the West Bank, Palestine. *Agricultural Water Management*. 2010; 97: 339-345.
- [29]. Sadati S, Speelman S, Sabouhi M, Gitizadeh M, Ghahraman B. Optimal irrigation water allocation using a genetic algorithm under various weather conditions. *Water*. 2014; 6(10): 3068–3084.

- [30]. Mohammadrezapour O, Yoosefdoost I, Ebrahimi M. Cuckoo optimization algorithm in optimal water allocation and crop planning under various weather conditions (case study: Qazvin plain, Iran). *Neural Computing and Applications*. 2017; 31(1): 1879–1892.
- [31]. Meftah Halaghi M, Ghorbani Kh, Keramatzadeh A, Salarijazi M. Application of game theory to determining optimal harvesting of water resources and determination of optimal crop pattern (Case study: Gharesu basin). *Iranian Journal of Water and Soil Conservation*. 2021; 27(5): 69- 87. (In Persian).
- [32]. Abedinpour A. A, Jabbarzadeh A, Yahyaei M. A multi-objective mathematical modeling for optimization of crop planning problem under Z-number uncertainty. *Iranian Journal of Water and Soil Conservation*. 2019; 25(5): 1- 24. (In Persian).
- [33]. Georgiou P. E, Papamichail D. M. Optimization model of an irrigation reservoir for water allocation and crop planning under various weather conditions. *Irrigation Science*. 2008; 26(6): 487–504.
- [34]. Nazarifar M. H, Salari A, Momeni R.. Development of a nonlinear programming model for determination of optimal cropping pattern based on deficit irrigation scenarios. *Iranian journal of soil and water research*. 2018; 49(5): 1055- 1070. (In Persian).
- [35]. Anonymous. Water resources balance of Gavkhuni basin study area to Blue water. Isfahan eegional water corporation, Office of basic water resources studies. 2010. (In Persian)
- [36]. Anonymous. The plain is the most critical slope of Frieden in terms of water resources depletion. Iran Islamic Republic News Agency. 2014. (In Persian)
- [37]. Yoosefdoost A, Yoosefdoost I, Asghari H, Sadeghian M. Comparison of HadCM3, CSIRO Mk3 and GFDL CM2.1 in prediction the climate change in Taleghan river basin. *American Journal of Civil Engineering and Architecture*. 2018. 6(3):93-100.
- [38]. Yoosefdoost I, Siuki A. K, Mohammadrezapour O, Tabari H. Evaluating performance of four statistical downscaling models (SDSM) of precipitation and temperature data under the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (IPCC) scenarios. *Journal of Climate Research*. 2021. 45: 43- 66. (In Persian).
- [39]. Yoosefdoost I, Mohammadrezapour O, Ebrahimi M. Applying genetic algorithms in determining optimal cropping pattern in different weather conditions in qazvin plain. *Iranian journal of water research in agriculture*. 2016. 30(3): 317- 331. (In Persian).
- [40]. Jensen M. E. Chapter 1: Water defecits and plant groth. ,New York, USA: In: Plants, Water consumption by agricultural. 1968. 22 P.